

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПОСЛЕ ЗАКАЛКИ

Мусихин С.А., Соляник И.А., Беликов С.В.

Руководитель – профессор, д.т.н. Попов А.А.

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург
musikhin-sergey@mail.ru

При термической обработке, такой как закалка, в стальных изделиях возникают внутренние напряжения различной величины и знака. Наиболее вредными для деталей считается возникновение в их поверхностных слоях растягивающих напряжений. При этом появляется опасность образования трещин и сокращается срок службы изделий вследствие преждевременной усталости, хрупкого разрушения, коррозионного растрескивания [1]. Экспериментально контролировать уровень остаточных напряжений затруднительно, поэтому наиболее перспективным методом их оценки является расчет в программах математического моделирования, типа Deform.

Для проверки адекватности моделей получаемых, с помощью программного комплекса Deform был проведен расчет изменения напряженно-деформированного состояния при закалке полых цилиндров диаметром 30 мм и длиной 60 мм из стали 65Г. Внутренние диаметры составляли 6, 9, 12, и 15 мм. Полученные результаты сравнивали с экспериментальными данными, приведенными в работе [2]. На рис. 1 представлено сравнение значений тангенциальных остаточных напряжений на внешней поверхности полых цилиндров после закалки с экспериментальными значениями.

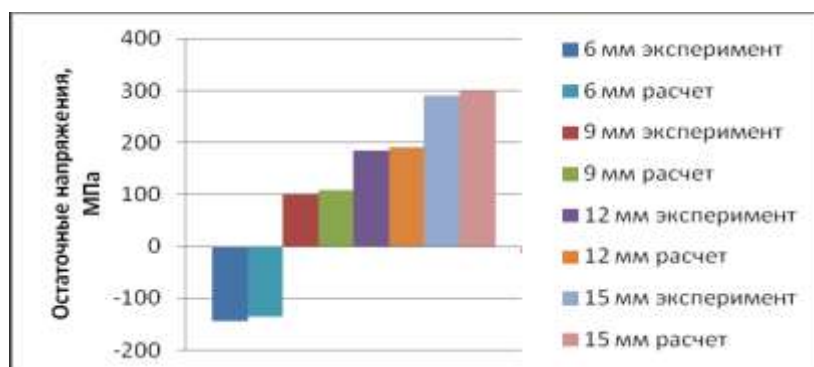


Рис. 1 Сравнение расчетных значений тангенциальных остаточных напряжений на внешней поверхности полых цилиндров с экспериментальными значениями

Из графика видно, что Deform позволяет довольно точно рассчитывать напряженное состояние, возникающее в детали в процессе

термообработки. Так, например величина тангенциальных остаточных напряжений на внешней поверхности полого цилиндра с внутренним диаметром 6 мм рассчитанная в Deform составляет ~ -135 МПа, а определенная рентгеновским методом -143 МПа [2].

Особенно актуальным является вопрос оценки напряженно-деформированного состояния в процессе термической обработки применительно к трубам, так как высокий уровень остаточных напряжений может привести к коррозионному растрескиванию. В связи с этим в данной работе с помощью программного комплекса Deform был смоделирован процесс закалки трубы размером 276×26.5 мм из стали 35Г2Ф.

На рис. 2 приведены температурные поля стали 35Г2Ф в момент нагрева под закалку и после одной секунды двухстороннего спреерного охлаждения. На рис. 3 представлено распределение эффективных напряжений по толщине стенки трубы после 1 секунды охлаждения.

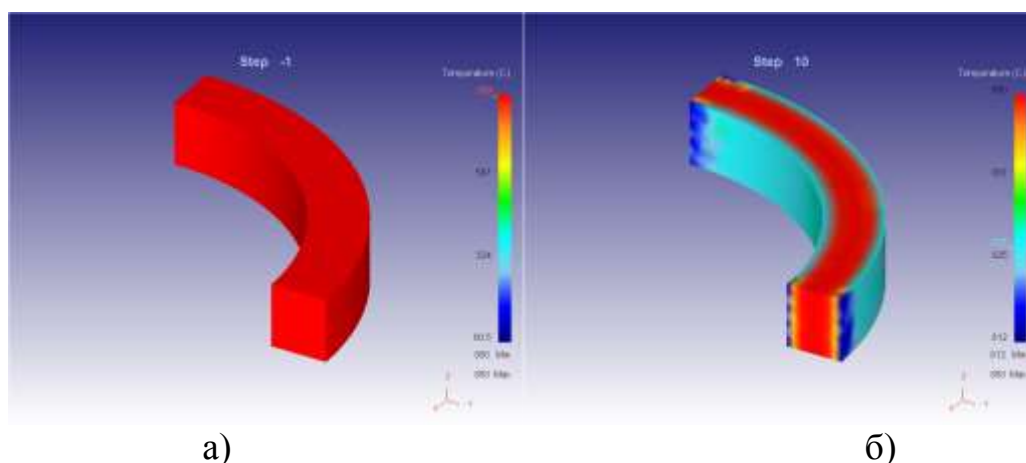


Рис. 2. Распределение температуры в трубе $276 \times 26,5$ из стали 35Г2Ф в момент нагрева под закалку (а) и после 1 секунды охлаждения (б)

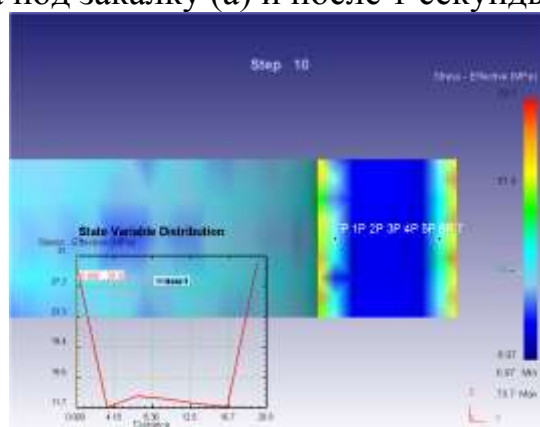


Рис. 3. Поле напряжений после 1 секунды охлаждения

После одной секунды охлаждения температура на поверхности трубы падает до 827 °С, при этом распада переохлажденного аустенита не происходит. Величина напряжений на поверхности трубы достигает 30

МПа. После 8 секунд охлаждения объемная доля мартенсита в поверхностном слое достигает 0,25. Доля распада по первой и второй ступени незначительны. Температура поверхности падает до 239 °С, а величина напряжений возрастает до 200 МПа. На рис. 4 представлены температурное и структурное поля после охлаждения (50 секунд). Из графика, представленного на рис. 4 а видно, что температура поверхности падает до ~60 °С, при этом внутренние слои имеют температуру порядка ~90 °С. Практически по всему сечению прошло мартенситное превращение. Расчетная объемная доля мартенсита во внутренних слоях трубы достигает 0.94. Напряжения на поверхности достигают 480...500 МПа (рис. 5).

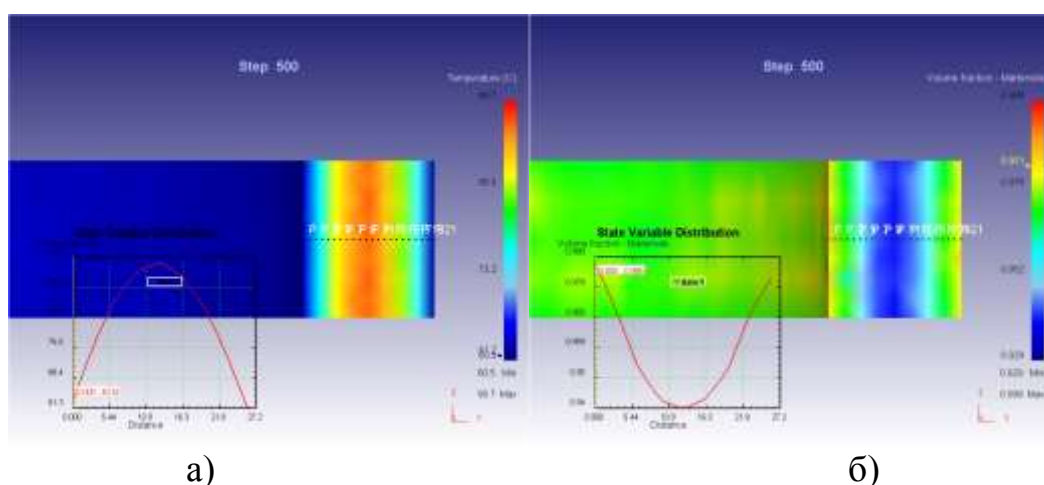


Рис. 4 Температурное (а) и структурное (б) поля в момент окончания охлаждения

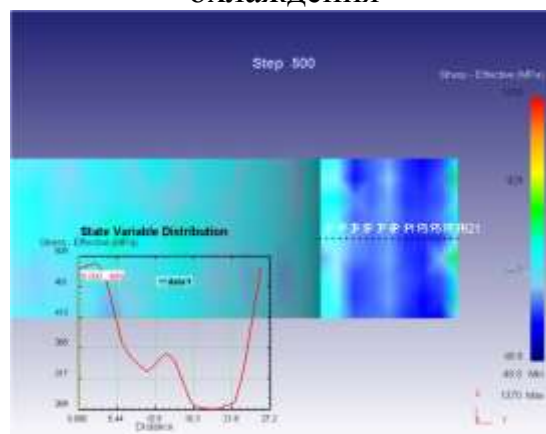


Рис. 5 Поле напряжений в момент окончания охлаждения

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малинкина Е.И. Образование трещин при термической обработке стали – М.: МАШГИЗ, 1958. 159 с.
2. Denis, S., Boufoussi, M., Chevrier, J.C., Simon, A. Analysis of the development of residual stresses for surface hardening of steels by numerical simulation: effect of process parameters - International Conference on Residual Stresses (ICRS4), 513-519, 1994.